温热环境对育肥猪体温调节的影响规律

夏九龙[1,2]　刁华杰[1,2]　冯京海[1*]　张敏红[1]　刁新平[2]

(1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京　100193；2.东北农业大学动物科技学院，哈尔滨　150030)

摘　要：环境温湿度是影响育肥猪福利、生长及健康的重要因素。猪属于恒温动物，当环境温湿度发生变化时，可以通过调整自身的产热量、采食量、呼吸频率、皮肤温度及体核温度等指标来维持产热和散热的平衡，从而在一定温湿度范围内维持体温的恒定。本文总结和分析了育肥猪在不同环境温湿度下育肥猪体温调节指标发生剧烈变化的顺序，判断不同温度下育肥猪的舒适状态，为今后研究、建立猪舒适环境参数，科学调控猪舍内的温热环境提供参考。

关键词：温度；湿度；育肥猪；体温调节

中图分类号：S815　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X（2016）00-0000-00

高温环境对养猪业的影响巨大，全球每年因为热应激造成的养猪业经济损失约数十亿美元[1]。近年来随着我国养猪集约化与规模化水平的提高，大部分猪舍配置了风机、湿帘、喷雾等降温设备，这显著改善了猪舍的温热环境[2]。但猪场温度控制往往根据生产者的经验，即使是装有自动监控设备的大型猪舍，其温湿环境的调节也缺乏充足的科学依据。而猪舍环境控制的恰当与否不仅直接影响猪的生长和健康[3-4]，还可能造成能源的浪费和养猪成本的上升[5-6]。猪属于恒温动物，当环境温湿度发生变化时，可以通过调整自身的产热和散热，在一定范围内维持体温恒定[7]，因此猪体温调节指标的变化是反映猪舒适程度的重要指标。总结有关温热环境对猪体温调节的影响规律，可为今后研究、建立猪舒适环境参数，科学调控猪舍内的温热环境提供参考。

1　猪的产热和散热调节

猪同其他哺乳动物一样，主要通过位于皮肤的外周温度感受器收集外界环境温度的变化[8]，并通过神经系统上传至体温调控中枢。体温调控中枢包括脊髓至大脑皮层的整个神经系统，但基本调节中枢位于下丘脑中的视前区下丘脑前部[9]，经过体温调节中枢的处理后，再通过神经和内分泌途径支配各个效应器[8,10]，调节猪的产热和散热。

猪的总产热量（THP）包括基础代谢产热、采食热增耗、活动产热和生产产热 4 部分，

收稿日期：2016–04–20

基金项目：国家“973”重点基础研究发展计划(2012CB124700)；国家“十二五”科技支撑课题（2012BAD39B02）；中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07).

作者简介：夏九龙（1989－），男，河南商丘人，硕士研究生，从事家禽环境与营养研究。E-mail: xjl396long@126.com

*通信作者：冯京海，副研究员，硕士生导师，E-mail: fjh6289@126.com

其中采食热增耗又可细分为摄食产热和消化、吸收产热[11]。集约化生产中猪的活动量较小，主要通过神经调节影响营养物质的代谢，因此采食量的变化可间接反映猪产热量的变化，或者使用呼吸舱直接测定猪产热量的变化。猪的散热方式包括可感散热和蒸发散热[12]，猪可以通过改变皮肤血流量，调节皮肤温度的变化，因此一般用皮肤温度反映可感散热的变化。猪体表蒸发散热与环境温度有关，当环境温度由 16 ℃升高到 29 ℃时，猪体表蒸发散热增加 1 倍；猪蒸发散热的另一个途径是通过喘息，在 30 ℃时猪呼吸频率与蒸发散热量的相关系数达到 0.7~0.8[13]。猪的蒸发散热量可以通过测定呼吸舱进出气体含水量的变化直接测定，也可根据呼吸频率的变化间接反映猪蒸发散热量的变化。

2 环境温度对猪产热的影响

2.1 对猪产热量的影响

猪通过皮肤蒸发散热的能力有限[14]，当环境温度超过热中性区上限后主要靠减少产热量维持体温恒定，因此一般根据猪产热量快速下降时的环境温度判定热中性区的上限温度。Quiniou 等[15]发现，60~90 kg 体重的猪在 16~22 ℃之间产热量基本恒定，平均每升高 1 ℃产热量仅下降 0.02 MJ/d，而在 12~16 ℃和 22~29 ℃之间，猪的产热量下降明显，平均每升高 1 ℃产热量下降 0.42~0.47 MJ/d，表明 60~90 kg 猪的热中性区可能在 16~22 ℃。Huynh 等[16]将 61.7 kg 的猪饲养于 16 ℃下，每天增加 2 ℃直至 32 ℃，通过非线性回归分析发现，THP 的拐点温度在 22 ℃（即当环境温度超过 22 ℃时 THP 开始快速下降），表明 60 kg 猪的上限温度可能在 22 ℃左右，这与上述研究结果基本一致。然而 Brown-Brandl 等[17]测定了 83 kg 猪在 18、24、28、32 ℃下的 THP，发现在 18~24 ℃之间猪 THP 下降缓慢，而在 24~28 ℃之间快速降低，因此认为猪热中性区上限温度在 24 ℃附近，且其他研究[18-19]也有相似发现，导致这一结果可能与试验设置的温度点间隔较大有关。上述研究表明以 THP 为指标育肥猪的热中性区上限温度在 22~24 ℃。

当环境温度超过热中性区上限后继续升高到一定温度，猪产热量的下降速度减缓，甚至开始升高。Brown-Brandl 等[17-18]研究发现环境温度超过 28 ℃后 80 kg 育肥猪的 THP 开始升高；同样，Brown-Brandl 等[20]发现 60~120 kg 育肥猪在 28 ℃后 THP 几乎不再下降。导致这一现象可能是由于急促喘息使肌肉运动加剧以及范德霍夫效应的影响，当环境温度达到这一阈值时，猪已经表现出明显的热应激症状。

2.2 对猪采食量的影响

猪可以通过调节采食量改变 THP，以维持体温的恒定。因此采食量的变化可以反映猪对环境温度的适应性，同时采食量又与猪的生产性能密切相关。Nichols 等[21]研究了 0~35 ℃范围内猪采食量的变化，发现 72.6 kg 的猪在 0~5 ℃之间每升高 1 ℃采食量下降 272 g；而在 5~20 ℃之间采食量变化缓慢，平均每升高 1 ℃采食量下降 36 g；在 20~35 ℃之间采食量快速下降，平均每升高 1 ℃采食量下降 113 g，表明猪的热中性区间可能在 5~20 ℃。Quiniou 等[15]研究了 12~29 ℃范围内猪代谢能摄入量的变化，发现 60~90 kg 猪在 14~22 ℃之间代谢

能摄入量基本恒定，平均每升高 1 ℃代谢能摄入量仅下降 0.16 MJ/d；而在 12~14 ℃和 22~29 ℃之间代谢能摄入量快速降低，平均每升高 1 ℃代谢能摄入量分别降低 0.76 和 1.70 MJ/d，推测 60~90 kg 猪的热中性区间可能在 14~22 ℃。上述 2 个试验选用的温度范围较宽，间隔较大，试验周期较长，因此得出的猪的热中性区间并不太精确。Brown-Brandl 等[20]研究了 60~120 kg 猪在 16~32 ℃范围内采食量的变化，发现 16~24 ℃范围内采食量降低缓慢，而在 24~32 ℃范围内采食量快速下降，推测 24 ℃可能是猪的热中性区上限。Huynh 等[16]通过非线性回归分析发现，61.7 kg 的猪采食量的拐点温度在 25.6 ℃，即超过 25.6 ℃后采食量快速下降，该结果与其他研究的结果[18-22]一致。上述研究结果表明以采食量为指标育肥猪的热中性区上限温度可能在 24~26 ℃。

3 环境温度对猪散热的影响

3.1 对猪蒸发散热量的影响

当环境温度超过猪的热中性区后，猪的散热主要以蒸发散热为主[13]。因此可以根据蒸发散热量的变化判断猪热中性区的上限温度。Huynh 等[16]利用呼吸舱研究了 16~32 ℃范围内猪蒸发散热量的变化，经非线性回归分析发现，当环境温度超过 21 ℃时猪蒸发散热量开始快速升高，表明 60 kg 猪的上限温度可能在 21 ℃左右。然而 Brown-Brandl 等[20]研究发现，60~120 kg 育肥猪在 16~24 ℃范围内，随环境温度升高蒸发散热量增加缓慢，而在 24~32 ℃之间快速增加，推测猪的热中性区上限温度在 24 ℃附近。Brown-Brandl 等[17]同样发现 80 kg 的猪在环境温度超过 24 ℃后蒸发散热量明显增加，导致这一结果可能与试验设置的温度点间隔较大有关。上述研究表明以蒸发散热量为指标育肥猪的热中性区上限温度可能在 21~24 ℃。

3.2 对猪呼吸频率的影响

猪由于汗腺不发达，通过皮肤蒸发散热的能力有限[14]，超过热中性区上限后猪主要靠喘息提高蒸发散热量，因此通过观察呼吸频率的变化可以判断猪热中性区的上限温度。Brown-Brandl 等[18]研究发现，80 kg 育肥猪在 18~24 ℃之间呼吸频率无明显变化，平均每升高 1 ℃呼吸频率仅增加 0.46 次/min，而在 24~32 ℃范围内呼吸频率快速增加，平均每升高 1 ℃增加 3.0~3.3 次/min。Brown-Brandl 等[17]同样发现，83 kg 猪的呼吸频率在 18~32 ℃范围内随温度升高而呈指数曲线型变化，超过 24 ℃后呼吸频率快速升高。这 2 个试验的结果表明，猪的热中性区上限在 24 ℃附近。Huynh 等[16]利用非线性回归分析得出，猪呼吸频率的拐点温度在 22.6 ℃，即当环境温度超过 22.6 ℃时呼吸频率开始快速升高。上述研究表明以呼吸频率为指标育肥猪的热中性区上限温度可能在 22.6~24.0 ℃。

3.3 对猪体表温度的影响

在热中性区附近时猪以可感散热为主，通过改变体表血流量，调节皮肤温度，调控可感散热量，因此一般用皮肤温度反映可感散热的变化。Bond 等[23]研究发现，在 21.1~42.5 ℃范围内猪的体表温度随环境温度呈线性增加。Huynh 等[16]同样发现在 16~32 ℃范围内 60 kg 猪

的皮肤温度也随着环境温度呈线性升高。Renaudeau 等[24]发现在 24~32 ℃之间随环境温度升高猪的皮肤温度基本呈线性增加，当温度超过 32 ℃猪的皮肤温度增加减缓。Brown-Brandl 等[25]用热成像仪测定猪在生产环境 21.3~36.6 ℃下皮肤温度的变化规律，发现皮肤温度随环境温度变化呈三次曲线型变化，在 20~23 ℃和 38~41 ℃范围内猪的皮肤温度相对稳定。上述研究表明，猪的体表温度随环境温度基本呈线性变化，但也可能存在拐点温度，这需要在无人为干扰条件检测大量数据。

4 环境温度对猪深层体温的影响

当环境温度过高，猪调节产热和散热仍无法维持热平衡时将会导致体核温度升高[26-28]。Brown-Brandl 等[18]研究发现 80 kg 育肥猪在 18~28 ℃之间，环境温度每升高 1 ℃猪的直肠温度提高 0.013 ℃，然而在 28~32 ℃之间每升高 1 ℃猪的直肠温度提高 0.118 ℃，表明猪的体核温度在环境温度为 28 ℃附近开始快速升高。Renaudeau 等[29]同样发现 50 kg 猪的直肠温度在 28 ℃附近开始迅速提高。Huynh 等[16]研究了 16~32 ℃（每天升高 2 ℃）范围内 60 kg 猪的直肠温度的变化，经非线性回归分析得出，育肥猪直肠温度的拐点温度为 27.08 ℃。上述研究表明以体核温度为指标育肥猪的热中性区上限温度可能在 27~28 ℃。

5 环境湿度对猪体温调节的影响

环境湿度对猪体温调节的影响与环境温度有关。低温下潮湿空气的导热性强，可能会增加猪的可感散热，高温环境下高湿影响猪蒸发散热的效率[30-31]，目前绝大部分研究集中在高温环境下。Morrison 等[26]分别研究了 22.0、27.5 和 33.0 ℃下不同湿度的影响，发现 22.0 ℃下湿度对猪的增重无显著影响，但在 27.5 和 33.0 ℃下，高湿显著降低了猪的增重。该研究没有发现高湿对猪体核和体表温度有显著影响，推测猪可能通过减少采食量缓解了高湿对猪体核和体表温度的影响。其他研究发现，环境温度在 30 ℃以上时，高湿（90% vs. 30%）显著提高了猪的呼吸频率、皮肤温度和直肠温度[30,32]。Lopez 等[33]也有类似研究结果。Huynh 等[34]研究了不同湿度（50%、65%、80%）下提高温度对猪生理指标的影响，发现高湿环境下猪的呼吸频率和直肠温度发生快速升高的拐点温度显著前移，表明高湿影响猪蒸发散热的效率，导致在较低温度下猪呼吸频率以及直肠温度开始增加。

6 小 结

综上所述，随着环境温度逐渐升高，育肥猪的产热量、采食量、蒸发散热量、呼吸频率等体温调节指标先后出现剧烈变化的现象。根据这些指标剧烈变化时的拐点温度可以确定热中性区的上限温度。但由于上述大多数研究中环境温度点设置较少，因此热中性区上限温度的估测不太准确。另外,随着环境温度进一步升高，部分体温调节指标如产热量、体表温度等存在第 2 个拐点温度，超过这些拐点温度意味猪进入到严重的热应激阶段。因此根据上述体温调节指标的变化规律，可以确定猪舒适、安全、危险等状态的环境温度范围。

上述针对不同温度对猪体温调节影响规律的研究一般采用持续温度，但在实际生产中并不存在长时间持续不变的温度环境。在严格控制的稳定的温度环境下获得的生理数据不能用

于预测实际生产中连续变化温度下的生理指标。因此需要进一步研究日连续变化温度下猪体温调节指标的变化规律，方可用于指导实际生产中猪舍温热环境的科学调控。

参考文献：

[1] ST-PIERRE N R,COBANOV B,SCHNITKEY G.Economic losses from heat stress by US livestock industries[J].Journal of Dairy Science,2003,86(1S):E52–E77.

[2] 雷明刚,王金勇,夏伟,等.传统猪舍改造工艺与新式环境调控猪舍设计及应用[J].中国畜牧杂志,2015,51(12):50–54.

[3] 杨培歌,冯跃进,郝月,等.持续高温应激对肥育猪生产性能、胴体性状、背最长肌营养物质含量及肌纤维特性的影响[J].动物营养学报,2014,26(9):2503–2512.

[4] NIENABER J A,BROWN-BRANDL T M.Heat stress effects on growing-finishing swine[C]//25th Annual Carolina Swine Nutrition Conference Proceedings.North Carolina:Carolina Feed Industry,2009.

[5] NIENABER J A,HAHN G L.Livestock production system management responses to thermal challenges[J].International Journal of Biometeorology,2007,52(2):149–157.

[6] LUBER G,MCGEEHIN M.Climate change and extreme heat events[J].American journal of preventive medicine,2008,35(5):429–435.

[7] ROLLER W L,GOLDMAN R F.Response of swine to acute heat exposure[J].Transactions of the ASAE,1969,12(2):164–169.

[8] BURGGREN W W.Role of the central circulation in regulation of cutaneous gas exchange[J].American Zoologist,1988,28(3):985–998.

[9] BOULANT J A.Hypothalamic neurons:mechanisms of sensitivity to temperature[J].Annals of the New York Academy of Sciences,1998,856:108–115.

[10] MORRISON S F.Central pathways controlling brown adipose tissue thermogenesis[J].Physiology,2004,19(2):67–74.

[11] VAN MILGEN J,NOBLET J.Modelling energy expenditure in pigs[M]//MCNAMARA J P E, FRANCE J, BEEVER D E.Modelling nutrient utilization in farm animals.Wallingford：CABI Publishing,2000:103–114.

[12] BAKKEN G S.A heat transfer analysis of animals:unifying concepts and the application of metabolism chamber data to field ecology[J].Journal of Theoretical Biology,1976,60(2):337–384.

[13] HOLMES C W,MOUNT L E.Heat loss from young pigs,individually and in groups,at ambient temperatures of 9,20 and 30 degrees C[J].The Journal of Physiology,1966,186(2):75P–77P.

[14] INGRAM D L.Evaporative cooling in the pig[J].Nature,1965,207(4995):415–416.

[15] QUINIOU N,NOBLET J,VAN MILGEN J,et al.Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures[J].British Journal of Nutrition,2001,85(1):97–106.

[16] HUYNH T T T,AARNINK A J A,VERSTEGEN M W A,et al.Effects of increasing

temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities[J].Journal of Animal Science,2005,83(6):1385–1396.

[17] BROWN-BRANDL T M,NIENABER J A,TURNER L W.Acute heat stress effects on heat production and respiration rate in swine[J].Transactions of the ASAE,1998,41(3):789–793.

[18] BROWN-BRANDL T M,EIGENBERG R A,NIENABER J A,et al.Thermoregulatory profile of a newer genetic line of pigs[J].Livestock production science,2001,71(2/3):253–260.

[19] RINALDO D,LE DIVIDICH J.Assessment of optimal temperature for performance and chemical body composition of growing pigs[J].Livestock Production Science,1991,29(1):61–75.

[20] BROWN-BRANDL T M,NIENABER J A,EIGENBERG R A,et al.Heat and moisture production of growing-finishing gilts as affected by environmental temperature[C]//2011 ASABE Annual International Meeting Presentation.Louisville,KY:American Society of Agricultural and Biological Engineers,2011:1111183.

[21] NICHOLS D A,AMES D R,HINES R H.Effect of temperature on performance of finishing swine[J].Animal Sciences and Industry,1980:14-16.

[22] QUINIOU N,DUBOIS S,NOBLET J.Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight[J].Livestock Production Science,2000,63(3):245–253.

[23] BOND T E,KELLY C F,HEITMAN H,Jr.Physiological response of swine to cycling environmental conditions[J].Animal Production,1967,9(4):453–462.

[24] RENAUDEAU D,KERDONCUFF M,ANAÏS C,et al.Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs[J].Animal,2008,2(11):1619-1626.

[25] BROWN-BRANDL T M,EIGENBERG R A,PURSWELL J L.Determining heat tolerance in finishing pigs using thermal imaging[C]//2012 IX International Livestock Environment Symposium (ILES IX) Presentation.Louisville,KY:American Society of Agricultural and Biological Engineers,2012:ILES121433.

[26] MORRISON S R,HEITMAN H,Jr,BOND T E.Effect of humidity on swine at temperatures above optimum[J].International Journal of Biometeorology,1969,13(2):135–139.

[27] GOURDINE J L,BIDANEL J P,NOBLET J,et al.Rectal temperature of lactating sows in a tropical humid climate according to breed,parity and season[J].Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2007,20(6):832–841.

[28] PEARCE S C,MANI V,BODDICKER R L,et al.Heat stress reduces intestinal barrier integrity and favors intestinal glucose transport in growing pigs[J].PLoS One,2013,8(8):e70215.

[29] RENAUDEAU D,GOURDINE J L,ANAIS C,et al.Effet du niveau de température sur l'acclimatation à court et moyen terme du porc en croissance[J].Journées Recherche Porcine,2007,39:69–76.

[30] HEITMAN H,HUGHES E H.The effects of air temperature and relative humidity on the physiological well being of swine[J].Journal of Animal Science,1949,8(2):171–181.

[31] SMITH W C,TONKS H M.The effect of a high-temperature,high-humidity indoor

environment on the performance of bacon pigs[C]//Programme and Abstracts of the 9th International Congress of Animal Production,Edinburgh:Oliver & Boyd,1966:104–105.

[32] RANDALL J M.Humidity and water vapour transfer in finishing piggeries[J].Journal of Agricultural Engineering Research,1983,28(5):451–461.

[33] LOPEZ J,JESSE G W,BECKER B A,et al.Effects of temperature on the performance of finishing swine: Ⅰ.Effects of a hot,diurnal temperature on average daily gain,feed intake,and feed efficiency[J].Journal of Animal Science,1991,69(5):1843–1849.

[34] HUYNH T T T,AARNINK A J A,GERRITS W J J,et al.Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity[J].Applied Animal Behaviour Science,2005,91(1/2):1–16.

Regularities of Thermoregulation in Finishing Swine Affected by Thermal-Humidity Environment

XIA Jiulong[1,2] DIAO Huajie[1,2] FENG Jinghai[1*] ZHANG Minhong[1] DIAO Xinping[2]

（1. *Institute of Animal Science*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100193, *China;*
2. College of Animal Science And Technology, *Northeast Agricultural University*, *Harbin* 150030, *China*）

Abstract: Environmental temperature and humidity play an important role in welfare, health and growth of finishing swine. As a kind of homeothermic animals, when the ambient temperature and humidity are changed, pigs can adjust thermoregulation indicators such as heat production, feed intake, respiratory rate, skin temperature and core temperature to maintain thermal balance, thus they can maintain constant body temperature in a certain range. This article summarized and analyzed the change orders of thermoregulation indices of finishing pigs under different environment temperature and humidity, and judged that the pigs were comfortable or not at different temperatures, in order to provide some references for studying and establishing a comfortable environment and a scientific regulation of thermal-humidity environment in the pigpen.

Key words: temperature; humidity; finishing swine; thermoregulation

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: fjh6289@126.com (责任编辑 田艳明)